

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-42374  
(P2000-42374A)

(43) 公開日 平成12年2月15日 (2000. 2. 15)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
B 0 1 D 61/48		B 0 1 D 61/48	4 D 0 0 6
53/22		53/22	4 D 0 6 1
C 0 2 F 1/44		C 0 2 F 1/44	H
1/469		1/46	1 0 3

審査請求 未請求 請求項の数17 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-225261

(22) 出願日 平成10年7月24日 (1998. 7. 24)

(71) 出願人 59810/301  
宮松 徳久  
静岡県伊東市宇佐美3297番地の488  
(72) 発明者 宮松 徳久  
静岡県伊東市宇佐美3297番地の488  
(72) 発明者 寒竹 嘉彦  
東京都江戸川区東葛西4丁目4番1-516  
号

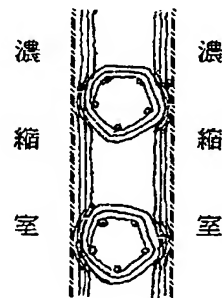
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極性物質の除去装置

(57) 【要約】

【課題】 水のみならず、有機溶剤や空気などの電気絶縁性の流体も対象として、その中に含まれる極性物質を電気的に除去できる装置を提供する。

【構成】 電気透析装置の脱塩室内に、繊維状イオン交換体に囲まれた貫通流路および／または繊維状イオン交換体とイオン交換膜とに囲まれた貫通流路を有し、かつ該繊維状イオン交換体は両側のイオン交換膜と接触していることを特徴とする流体中に含まれる極性物質の除去装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】電気透析装置の脱塩室内に、繊維状イオン交換体により囲まれた貫通流路および／または繊維状イオン交換体とイオン交換膜とに囲まれた貫通流路を有し、かつ該繊維状イオン交換体は両側のイオン交換膜と接触していることを特徴とする流体中に含まれる極性物質の除去装置

【請求項2】剛直な中空ネットまたはコイルを芯とし、その外側を繊維状イオン交換体を取り巻いてなる線条イオン交換性構造物が、その太さ方向の両側でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項1の装置

【請求項3】中空円筒膜を芯とし、その外側を繊維状イオン交換体を取り巻いてなる線条イオン交換性構造物が、その太さ方向の両側でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項1の装置

【請求項4】少なくとも外層が繊維状イオン交換体により構成され、断面の最大寸法が300 $\mu$ m以上である線条イオン交換性構造物が、流路間隔を置いて平行に並び、その太さ方向の両側でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項1の装置

【請求項5】繊維状イオン交換体よりなる線条イオン交換性構造物、または該構造物と貫通流路形成用線条スペイサーとを緯糸とする、「すだれ」状イオン交換性構造物が、その両面でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項2、3および4の装置

【請求項6】実質的な平面内で間隔を置いて平行に並ぶ剛直な中空ネットと、これに密着しながら交叉する繊維状イオン交換体とにより構成されてなるシート状イオン交換性構造物が、その両面でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項1の装置

【請求項7】板状フレーム構造体を支持体とし、繊維状イオン交換体により囲まれた貫通流路および／またはイオン交換膜を加えて貫通流路を完成する繊維状イオン交換体よりなる流路壁を有する板状イオン交換性構造物が、その両面でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項1の装置

【請求項8】繊維状イオン交換体よりなる波板状または薄層ハニカム状イオン交換性構造物が、その両面でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項1の装置

【請求項9】イオン交換性構造物が、シート状繊維状イオン交換体を介してイオン交換膜と接触する状態で、電気透析装置の脱塩室内に装着されてなる請求項2、3、4、5、6、7および8の装置

【請求項10】イオン交換膜がポリオレフィン系不均質膜であって、イオン交換性構造物が少なくとも一方のイオン交換膜と熱接着されて、脱塩室内に装着されてなる請

求項2、3、4、5、6、7および8の装置

【請求項11】被処理流体が水であり、その中に含まれる極性物質の除去を行う請求項1の装置

【請求項12】被処理流体が水溶液、水と水溶性溶剤の混合液、または該混合液を溶媒とする溶液であり、その中に含まれる極性物質の除去を行う請求項1の装置

【請求項13】被処理流体が有機溶剤または有機溶剤溶液であって、その中に含まれる極性物質の除去を行う請求項1の装置

【請求項14】被処理流体が水と水とは相溶性のない液体との混合液であって、その中に含まれる極性物質の除去を行う請求項1の装置

【請求項15】被処理流体が気体であって、その中に含まれる極性物質を除去する請求項1の装置

【請求項16】電気透析装置の脱塩室内に、中空ネットまたは中空円筒膜を芯としその外側を繊維状イオン交換体を取り巻いてなる線条イオン交換性構造物が装着されてなる装置であって、被処理流体が脱塩室内で該構造物に対しアウトインまたはインアウトの流れをとることを特徴とする請求項1、2および3の装置

【請求項17】被処理流体が気体、または実質的に電導性のない有機溶剤または有機溶剤溶液であって、脱塩室内のイオン交換体に対する水分補給機構を付加した、請求項13および15の装置

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は水に限らず、空気、有機薬液など電気絶縁性の流体に対しても処理対象を広げ、その中に含まれる極性物質を電氣的に連続して除去できる新規かつ改良された極性物質除去装置に関し、その利用分野はクリーンルームの空調や半導体製造用の高純度薬液および超純水の製造など多岐にわたる。

【0002】

【従来技術】電気透析装置の脱塩室にイオン交換樹脂、繊維状イオン交換体等のイオン交換体を収容して脱塩を行う電気再生式純水製造装置が、ここ数年前より実用化されるようになった。これは、脱塩室にイオン交換体を収容しない従来型の電気透析装置であれば、脱塩の進行に伴う水の電導度低下により、低濃度領域における脱塩の継続が不可能となるところを、イオン交換体を収容することにより電導度低下を大幅に低減でき、高純度の純水の製造を可能としたものである。これまでの純水製造法では、たびたびイオン交換樹脂を再生しなければならないのが、電気再生式純水製造装置によれば電源を入れておくだけで継続して高純度の純水が得られ、しかも廃水処理の必要もないなどのメリットがあり、今後の成長が期待される新技術として注目されている。

【0003】この電気再生式純水製造装置の脱塩室は、陽極側のアニオン交換膜と陰極側のカチオン交換膜とに挟まれた通常数ミリ程度の幅狭い空間であり、この空間

にカチオン交換タイプとアニオン交換タイプが混合されたイオン交換樹脂、または繊維状イオン交換体が収容されている。イオン交換体が繊維状イオン交換体である場合、カチオン交換体およびアニオン交換体の混合物（以後この混合物を単に「繊維状イオン交換体」と表現することがある。）に、さらに補強など物性改善のため合成繊維を混用した不織布を、脱塩室に装着する。両端のイオン交換膜と接触を保つため、反発弾性があり膜間距離をやや上回る厚さの不織布が用いられる。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】この電気再生式純水製造装置は、純水の製造には合理的なシステムではあるが、有機溶媒や空気などに含まれるイオン性物質などの極性物質を除くには、たとえこれらの流体が極性物質を多く含む場合でも一般的には電気絶縁性であり、したがって、水以外の流体を対象にした「電氣的脱塩」のアイデアはなかった。（以後、流体からの極性物質の除去を「脱塩」と表現することがある。）

また純水製造の場合でも、脱塩室に収容されたイオン交換体間の間隙は極めて狭く目詰まりし易く、脱塩を継続するには極めて清澄な水が必要であり、実用化は逆浸透膜装置を前置する場合に限られている現状にある。本発明は水に限られていた脱塩対象を、気体や有機溶剤系に広げると共に、純水製造に関しては現行技術の問題点を取り除こうとするものである。

【0005】本発明者はクリーンルームの空調や半導体製造用高純度試薬の製造分野において、気体や非水溶媒さらには各種薬液に対する脱塩のニーズが高まっている現状に鑑み、純水製造用電気透析装置の合理性を気体や溶媒系などより多くの流体に適用することを日頃より意識していたところ、空気やトルエンのような絶縁流体を脱塩室に導入した場合でも、脱塩室に収容したイオン交換体の状態によっては電導性が得られる場合があることに偶然にも気づき、さらに追求した結果、絶縁媒体を入れた脱塩室が僅かながらも電導性となるのは、1) 脱塩室内にイオン交換樹脂や繊維状イオン交換体などのイオン交換体が収容されていること、2) 同時にこれらイオン交換体が適度の水分を保持していること、の二条件が満足される場合に限られることを突き止めた。

【0006】この知見を契機に、脱塩室の電導性をより確実なものとするれば、電気絶縁性の流体であっても脱塩処理（極性物質の除去）が可能になると直感し、鋭意、装置化研究を始めた。その結果、脱塩室の電導性を高め、さらに安定化さすには、3) イオン交換体として繊維状イオン交換体を用い、同時にこの繊維状イオン交換体が膜間を直結するような配置をとること、と4) 繊維状イオン交換体は引き揃えられ高密度な存在状態となり、その上で撚りなどが加えられ互いの接触状態が確保されることが好ましい要件であることを把握した。さらに、非水系流体の場合において脱塩を続けると、次第に

電導性が低下しついには脱塩の継続ができなくなる現象がみられた。この原因についてはイオン交換体の水分が脱塩運転に伴う電気浸透現象により奪われるためであることが判り、対策として、5) 水分を持たない非水系流体の脱塩処理を連続して行うには運転中イオン交換体に水分補給を必要とする、ことを確認した。

【0007】一方で、脱塩室は繊維状イオン交換体により、狭い脱塩室は一層窮屈となり、特にやや粘性のある溶液や分散液、さらには水と油、気体と液体など非混合性の混合流体は、脱塩室を通過するのが不可能となり、この対策について種々検討した結果、6) 脱塩室に挿入するイオン交換体として、貫通流路を有し、かつ該流路の周りを繊維状イオン交換体を取り巻いてなるイオン交換性構造物として用いる、ことが極めて有効であることを見出すに至った。これは流体の流路を確保し、同時に繊維状イオン交換体の量と配置を両立させるものであって、上記1)～5) 項をも矛盾なく満足し、本発明のキープポイントもなっている。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】かかる経過を経て本発明は完成されたものであり、本発明は、電気透析装置の脱塩室内に、繊維状イオン交換体により囲まれた貫通流路および／または繊維状イオン交換体とイオン交換膜とに囲まれた貫通流路を有し、かつ該繊維状イオン交換体は両側のイオン交換膜と接触していることを特徴とする流体中に含まれる極性物質の除去装置であり、非水流体を処理するに際しては必要に応じ水分補給機構を付加するものである。

【0009】以下、本発明を図面を交えて説明する。図1は、本発明装置の例として、後述する実施例で用いたものであり、両端に電極室があり、Cが濃縮室、Dが脱塩室であり、電極室と濃縮室にはそれぞれの室液が循環する構造となっており、基本的に電気透析装置に似てはいるが、脱塩室には、繊維状イオン交換体を用いた構造物が装着され、この装置により、水を始め、水系溶液、有機溶剤、有機溶剤溶液、さらには気体などの流体中に含まれる極性物質の除去（脱塩処理）ができる。

【0010】図2は不織布を挿入した現行装置の脱塩室、図3は本発明による脱塩室を説明するためのものであり、いずれも流体の進行と直交する断面より脱塩室内を見た模式図である。（なお、図1および図10以外の図面も、脱塩室内を流体の進行方向と直交する断面より見た、脱塩室内の状態を説明するための模式図である。）

図3は、剛直な中空ネットを芯（支持体）とし、その外側に繊維状イオン交換体を巻き付けたイオン交換性構造物を脱塩室内に装着した、本発明の一例であるが、中空ネットで確保された流路の両端で繊維状イオン交換体とイオン交換膜は互いに密着し、両端のイオン交換膜間を最短距離に近い状態でもって接続しており、しかも各繊

維は互いに方向を描いて接触し合っており、たとえ一部で繊維の切断があっても隣接繊維により電導性がカバーされる理想的な構造となっている。

【0011】一方、不織布は通常、薄いシート（ウェブ）を複数重ねて作られており、不織布の繊維は脱塩室に装着された状態で、図2のように大部分がイオン交換膜に平行に存在する。脱塩時の電流は、繊維状イオン交換体に捕捉されたイオンが印加された電場の作用を受けて繊維上を移動する、イオンの移動（イオン電流）として実現するが、その経路は、電場とは直交して存在する繊維上を移動し、繊維接触点より隣接繊維に移ることを繰り返しつつイオン交換膜に到達するため、イオンの移動距離は長く、接点での接触も不安定なものであり、電気抵抗は高くならざるを得ない。特に、流体が高度の電気絶縁体である空気や非極性溶媒の場合は、イオン交換体の接触部分にこうした絶縁流体が介在し、接触による電導性では致命的に電導性が低下することにもなるため、イオン交換膜間を（途中で切断することなく）直結するイオン交換体の存在こそが肝要である。流体の透過についても、不織布の場合、極めて狭い繊維間隙を移動しなければならず、当然流体の透過抵抗が高くなる上に、ごく僅かの浮遊固形物（SS）により目詰りして通過性が損なわれる。このように貫通流路による大口径の流路と、優れた電導性を引き出す繊維状イオン交換体の理想的配置を同時実現した本発明装置の特徴は明らかである。

【0012】ここで「貫通流路」とは、分岐したり、鋭角に曲がることなく、流路内に実質的な障害物がなく、断面がほぼ一定形状のままで連続するトンネル状の流路を意味し、その周り全面が繊維状イオン交換体で囲まれるか、繊維状イオン交換体よりなる壁面とイオン交換膜で囲まれた連通空間を意味する。したがって図3の場合において、イオン交換性構造物が脱塩室内に平行に装着されている限り、中空ネットで確保された空間Aのみならず該構造物間の空間Bも貫通流路である。なお、このイオン交換性構造物は図4のように互いに密着して装着されていても良い。

【0013】かかる貫通流路を脱塩室内に形成するには、既に貫通流路を有しているイオン交換性構造物か、脱塩室に挿入することにより、両端のイオン交換膜とともに貫通流路を完成し得る、以下に示すイオン交換性構造物を装着することにより実現できる。第1の構造物としては既に図3で例示した、剛直な中空ネットまたはコイルを芯（支持体）とし、その外側を繊維状イオン交換体を取り巻いてなるイオン交換性構造物がある。この場合、支持体となる中空ネットまたはコイルには、太繊維度合成繊維のモノフィラメントなどの剛直な線条物を中空紐状に編組して得られる中空ネット、あるいはやはり太繊維度のモノフィラメントをコイル状に成形したプラスチックコイルとも言えるものがある。これらの中空ネット

およびコイルはともに僅かの力で伸張し易く、以後の取り扱いが難しい傾向があるので、その伸縮性を止め、耐圧性を増すために編組後に繊維間接着したものが特に好ましい。さらに芯糸のあるネットあるいはコイルを用い、イオン交換性構造物とした後、芯糸を抜いたり、分解したり、あるいは溶解して除き、目的とするイオン交換性構造物とすることも可能である。

【0014】第2の構造物として支持体に中空逕過膜を用い、その外側に繊維状イオン交換体を巻き付けた構造物がある。図5は芯に1本の中空逕過膜を配したイオン交換性構造物を脱塩室に装着した状態である。中空逕過膜としては、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ（4-メチルペンテン-1）等のポリオレフィン；ポリテトラフロロエチレン、ポリフッ化ビニリデン等のポリフッ化オレフィン；ポリスルホン、ポリアクリルニトリル、ポリビニルアルコール、ポリエチレン／ビニルアルコールなどを原料とする、水処理用や気体逕過用として市販されている中空逕過膜が利用できる。この構造物は、後述するように中空逕過膜の精密逕過機能と繊維状イオン交換体による脱塩機能を同時実現する場合に特に効果的である。なお、この構造物において芯に中空逕過膜の束を用いる場合には、フィン付きの中空逕過膜を用いたり、スペイサーなどを用い、中空逕過膜の分散を図り、膜間に流体が出入りできる隙間を設けることが好ましい。

【0015】中空ネットや中空逕過膜の周りに繊維状イオン交換体を巻き付ける方法としては、フィラメント状、または予め紡績糸、紐、テープ状に加工された、繊維状イオン交換体を、直接包帯巻きする（カバリング）か、あるいは外側に編組組織を形成（スリーピング）してもよい。また、カバリングあるいはスリーピングを重ねてもよく、カバリングとスリーピングを組み合わすこともできる。一般にカバリングの方が繊維密度が高く、繊維間隙を細かくかつ均一にすることができ、一方のスリーピングは繊維が交差した組織となるので繊維密度を高くしても流体の透過性がよい被覆層が得られる特徴がある。こうした被覆層の特性は巻き付けるイオン交換体の構成要因、すなわちフィラメントであるか紡績糸であるか、混用繊維の有無、構成繊維の太さや嵩高性、混用比率、糸の太さ、撚り数、さらには巻き付け量などによっても変えられる。

【0016】さらに第3の構造物として、少なくとも外層が繊維状イオン交換体により構成され、断面の最大寸法が300 $\mu$ m以上である線条イオン交換性構造物がある。これらは脱塩室内で流路用間隔を置いて平行に並び、その太さ方向の両側でイオン交換膜と接触して、電気透析装置の脱塩室内に装着されている必要がある。この線条イオン交換性構造物は、自身では貫通流路を持たないが、図6に示すように脱塩室内に間隔を設けて平行にならべることにより、線条体とイオン交換膜により取

り囲まれてる空間を形成して貫通流路とするものである。使用できる線条体としては、繊維状イオン交換体を主要構成成分とする紡績糸、フィラメント糸があり、これらを太めの合繊糸や紐などの支持体として表面に巻き付けたものであってもよく、さらにやや厚めの不織布を切断して得られる細長い紐状物がある。ここで、良好な電気特性を引き出すために、繊維状イオン交換体は、両端のイオン交換膜と直に接触することが理想であり、このために、フィラメント糸の場合には適度の撚りにより軸に対し旋回させ、不織布の場合には図7のように切断面をイオン交換膜面に密着させて用いる。線条体は、イオン交換膜としっかりした接触を図るため、膜間距離と同等ないしやや太めである必要がある。

【0017】第1、第2および第3のような線条のイオン交換性構造物を利用する場合には、これらの線条イオン交換性構造物、または該構造物と貫通流路形成用線条スペイサーとを緯糸とする、「すだれ」状にあらかじめ加工したものをを用いると、該構造物の脱塩室への収容時の位置決めが容易であり、その後のずれなどのトラブルを回避ないし軽減できて、特に好都合である。これらをすだれ状に加工するには、例えば、緯糸挿入方式の経て編み機を用いて、緯糸に線条イオン交換性構造物を使用する方法が採用できる。この場合、経糸は、流路を横切るもので、流体の通過に対する影響を少なくするためにも細く、強力があり、耐薬品性にも優れた合成繊維のモノフィラメントが特に好ましい。この場合の緯糸間隔が狭いと形成される貫通流路幅の変動率が拡大し、逆に間隔が広くなりすぎても脱塩機能が低下するので、緯糸間隔は緯糸切断面積の平方根に対し0.3～3.0倍の範囲が好ましい。貫通流路となる糸間隔をより確実にするには、実施例でもって後述する脱塩装置Bのように、前記した中空ネットのような剛直でオープン構造をした線条体をスペイサーとして、緯糸に線条イオン交換性構造物と交互に用いることにより好適に実現できる。

【0018】さらに、中空ネットの確実な貫通流路形成性を活用するものとして、実質的な平面内で間隔をおいて平行に並ぶ剛直な中空ネットと、これに密着しながら交叉する繊維状イオン交換体とにより構成されてなるシート状イオン交換性構造物があり、こうしたイオン交換性構造物を脱塩室内に、その両面がイオン交換膜と接触するように収容したものが本発明装置となる。例えば、繊維状イオン交換体よりなるフィラメント糸、紡績糸、あるいはテープなどを経糸とし、緯糸に中空ネットを用いた織物状構造物があり、図8はこうした構造物を脱塩室に収容した状態である。さらに繊維状イオン交換体がウェーブ、不織布などのシート状物であって、その片面あるいは両面に中空ネットを等方向、等間隔に並べ、かつ剛直な中空ネットにシート状物に寄り添うように屈曲させた図9のような構造物を脱塩室に装着してもよい。

【0019】第4の構造物として、板状フレーム構造体を支持体として構成され、繊維状イオン交換体により囲まれた貫通流路および/またはイオン交換膜を加えて貫通流路を完成する繊維状イオン交換体よりなる流路壁を有する板状イオン交換性構造物がある。この構造物は、その両面でイオン交換膜と接触する状態で、電気透析装置の脱塩室内に装着されることにより、本発明装置となる。支持体となる板状フレーム構造体としては、二枚の剛直なネットや穴あき板の間にプラスチック製の棒などをスペーサーとして貫通流路用の空間を確保したもの、あるいはこうした構造を一体成形したものなどが利用できる。図10はこうした支持体の一例であり、図中、実線部分がフレーム、矢印は流体の移動方向を示している。こうした支持体を用いたイオン交換性構造物を脱塩室内に装着した状態を図11、12および13に示す。図11は繊維状イオン交換体が全ての面を取り巻いたイオン交換性構造物、図12は繊維状イオン交換体を取り巻いた貫通流路を交互に形成したイオン交換性構造物である。さらに板状フレーム構造体の面に直交する面のみ繊維状イオン交換体の壁を形成した図13のイオン交換性構造物は、脱塩室に装着することにより初めて、両サイドのイオン交換膜を加えた4面に囲まれた貫通流路を完成するものである。

【0020】このように第4のイオン交換性構造物は、脱塩室の両サイドにあるイオン交換膜を繊維状イオン交換体がほぼ最短距離で結ぶので、電導性もよく、一般に貫通流路の大きさ、形状などの選択にも余裕（自由度）がある。支持体となる板状フレーム構造物の厚さは0.5mm以上であれば特に制限はない。厚さが10～200mmもある支持体を用いたものは、脱塩室が1～2室の極めてシンプルな構造として大口径の貫通流路を有する装置として、特に流体の通過性に配慮する必要がある場合に適している。

【0021】第5の構造物として、繊維状イオン交換体よりなる波板状または薄層ハニカム状イオン交換性構造物がある。これらは繊維状イオン交換体単独またはこれを主構成成分とする、紙、編布、織物、あるいは不織布でも比較的繊維密度が高く腰のあるシートを用い、これに熱賦型、熱接着、縫い合わせなどの加工を行い、波板や段ボール紙に似た薄層ハニカム状の第5のイオン交換性構造物を得ることができる。特に、繊維学会誌、V o 1. 39、T-111 (1983)に記載の宮松らの方法により得られる、熱接着性繊維状イオン交換体により構成されたイオン交換紙は、十分な耐水性、適度の硬さ（腰）、熱接着性があり、それに熱賦性も備えており、こうした目的に極めて好ましい材料である。図14および図15は、それぞれ波板状イオン交換性構造物および薄層ハニカム状イオン交換性構造物を用いた脱塩室の状態を示すものである。

【0022】脱塩室に装着されるこれらのイオン交換性

構造物は、本発明装置の電導性を優れたものとするために、イオン交換膜との接触を良好なものとするのが肝要である。かかる観点より両者の間にシート状繊維状イオン交換体を介することにより、接触状態の改善を図ることができる。すなわち、イオン交換性構造物が剛直であったり、繊維状イオン交換体が太繊維である場合など、イオン交換膜との接触がスポット的になりがちであるが、こうした場合イオン交換体のシートを介することにより接触面積を拡げる作用があり、電気抵抗の低減効果のみならず、局所に集中する電流を分散し電流密度を平均化する効果によりイオン交換膜を痛める危険が少なくなる。図16は図3で示したイオン交換性構造物の場合において、ごく薄い不織布状繊維状イオン交換体を用いた脱塩室内の様子であるが、該構造物とイオン交換膜との電気的接触はイオン交換膜に沿った繊維状イオン交換体によりイオン交換膜の全面に拡大される様子が理解できる。こうした目的に使用される繊維状イオン交換体のシートとしては編織布、不織布、紙などの薄手のシート状物があり、「腰」やクッション性を付与するために、合成繊維を含むものも好ましい。なお、これらのシートをカチオン交換膜側に使用する場合には、繊維状カチオン交換体が多く、また、アニオン交換膜側に使用する場合には繊維状アニオン交換体が多いことが、より良い電導性を発現するうえで好ましく、さらにシートの使用は片側のみでも十分効果が得られる場合もある。

【0023】さらに、イオン交換膜が後述するようなポリオレフィン系不均質膜である場合においては、イオン交換性構造物とイオン交換膜とを熱接着することができ、これにより、両者を密着状態のまま固定でき、電導性の改善のみならず、装置の信頼性も高めることができる。この熱接着は、構成成分としてポリオレフィンを内蔵する繊維状イオン交換体か、あるいはポリオレフィン系熱接着性繊維を混合した繊維状イオン交換体を用いたイオン交換性構造物である場合に実現できる。ポリオレフィンが溶融粘度が低いポリエチレンである場合に、熱接着は特に好適に実施できる。熱接着は、ポリオレフィンの融点以上の温度と圧力をかけるが、熱によるイオン交換基の分解を回避するため、極短時間で、熱接着部分を局所的にすることが好ましい。イオン交換性構造物と熱接着するイオン交換膜としては、アニオン交換膜より一般的に耐熱性に優れたカチオン交換膜が好ましい。またイオン交換性構造物を中央に両サイドにカチオン交換膜およびアニオン交換膜を熱接着することも不可能ではない。

【0024】以下、被処理流体別に本発明の説明を続ける。本発明装置を純水あるいは超純水製造用として使用するには、現行の電気再生式純水製造装置と同様、逆浸透装置を前置して使用できる。この場合、イオン交換性構造物の構造に起因する良好な電導性により、消費電力が少なく、したがって安価な純水を得ることができ、加

えて、脱塩室の数を多く設定することが可能であり、大能力の装置ができる特徴がある。

【0025】また、貫通流路による耐SS性の改善により、目詰まりなどのトラブルが大幅に軽減し、逆浸透装置を始めとする前置装置より解放され、直接あるいは中空逆浸透膜などの簡単な前置逆浸透のみで、井戸水、水道水より純水を得たり、火力や原子力プラントにおける復水の脱ミネラルなどに適用することができる。特に本発明装置を沸騰水型原子力発電の復水など、放射性金属イオン処理を含む水処理に使用した場合、イオン交換樹脂を用いた脱塩装置、および使用済みイオン交換樹脂として発生する大量の放射性廃棄物を劇的に減少できる他、イオン交換体からの溶出物による原子炉本体への悪影響も回避できる。

【0026】水溶液、水と水溶性溶剤との混合液、およびこれらの混合液を溶媒とする混合溶媒溶液などの水系溶液についても、水と同様に高度の脱塩処理を行うことが出来る。ここで水溶性溶剤として、メタノール、エタノール、エチレングリコール、ジエチレングリコール、グリセリン、テトラヒドロフラン、ジメチルホルムアミド、ジメチルスルホキシドなど、水と任意の比で混合しあえる溶媒があり、溶質としてはオリゴ糖、アミノ酸、ペプチド、アデニン系やウラシル系核酸成分、アルブミンやグロブリンなどの蛋白質、界面活性剤、ポリビニルアルコール、ポリビニルピロリドン、ポリN-ビニルアセトアミド、ポリエチレングリコールなど多くの水溶性物質がある。この場合、溶質濃度が高かったり、高分子溶液であったりして粘性がある場合、貫通流路の大きなイオン交換性構造物を使用することにより脱塩室内の通液性を確保できる。

【0027】こうした水系処理液の脱塩処理は、現在の電気再生式純水製造装置では、溶剤や溶質が逆浸透装置の障害となって処理できず、もっぱら電気透析装置の対象となっているが、その脱塩レベルは数百ppm止まりである。これに対し本発明によれば、装置本体と貯槽とを循環する脱塩運転を行い、時間経過に伴い脱塩レベルを高めたり、あるいは本発明装置数基を多段連結するか、従来タイプの電気透析装置による粗脱塩の後に本発明装置を仕上げ用に用いるなどにより、純水に近い脱塩レベルが達成できる。

【0028】また、水系処理液から脱酸、脱アルカリを行うことも可能である。この場合一般的なイオン交換膜であれば、水素イオンあるいは水酸イオンに対する選択透過性が低いため、酸あるいはアルカリを前もってそれぞれアルカリ金属水酸化物やアンモニアあるいは塩酸で中和してと、電流効率を高められ好ましい。一方、最近、水素イオンに対して特に選択透過性が優れたイオン交換膜が開発され、酸の除去あるいは回収が行えるようになっている。こうしたイオン交換膜を搭載することにより、本発明装置は低濃度の酸を直接しかも低濃



度領域からも除去回収することができ、しかも回収される酸は濃縮して回収できるので再利用にも好都合である。

【0029】現在、半導体製造工場などにおいて、空气中に存在する痕跡量の極性物質の除去のために、ケミカルフィルターが使用されている。これらは再生型の繊維状イオン交換体の固体酸あるいは固体塩基としての機能を利用するものではあるが、アニオン交換体においてはアミン、カチオン交換体においてもSOXやカルボン酸などの分解ガスが発生し、こうしたケミカルフィルターそのものより発生するガスがいわゆるアウトガスとして問題となっている。本発明装置により、気体に含まれる酸性ガスや塩基性ガスさらには塩(えん)などの極性物質を、連続的に除去でき、脱塩室内の繊維状イオン交換体は常に電氣的に再生されているため、吸着機能は常に初期性能のままの高機能、高能力であるなど、前記した電気再生式純水製造装置の特徴をそのまま気体分野でも発揮することが出来る。さらにアウトガスの発生は、イオン交換体の使用が極めて少量であるうえに、常時再生されていることにより、皆無に近い。こうした特徴により、本発明装置は、半導体や液晶、光学機器などの製造工程における痕跡量の極性物質の除去を始めとし、特殊病院、美術館、博物館などにおける高度な空調空間、肥料工場や化学工場におけるアンモニアや各種アミン臭、フェノールなどの除去、さらには排煙中のSOXやNOXの除去などに、効果的に利用できる。さらに、ケミカルフィルターにおいては、アニオン交換体が空中の炭酸ガスを吸着して、硼酸、砒酸など弱酸性物質に対する吸着力が顕著に低下するが、本発明装置によれば常時電氣的に再生されていることにより、繊維状アニオン交換体の持てる能力をフルに活用できる。

【0030】溶剤および溶剤溶液に含まれる極性物質についても、そのままあるいは後述する水分補給機構を付加することにより、本発明装置を用いて除去することができる。近年、半導体工場などで使用される超高純度試薬や各種薬液においては、金属イオンやハロゲンイオン、硝酸根、硫酸根などのイオン性物質(極性物質)の徹底した除去が求められている。こうした要求に対しイオン交換樹脂が使用されているが、溶剤系からの脱塩や脱イオン反応は、極めて進行が遅いうえに、吸着対象物がppb、あるいはpptオーダーの超低濃度であるため、困難を極めている。本発明によれば、非処理物が実質的に無水である場合は、処理により水分が混入することになるが、処理後脱水や蒸留を行うことにより、無水状態に戻すことができる。さらに前記したようにイオン交換体自体より出る汚染物が格段に少ない特徴を持っている。

【0031】また、本発明装置は水と水とは相溶性のない液体との混合液を非処理液として、その中に含まれる極性物質を除去でき、例えば、石油製品に少量混入した

海水などから塩分を除去できる。また、エポキシ樹脂など合成課程で混入した多量の電解質を不純物として含有する疎水性ポリマーの場合、有機溶剤溶液として、多量の水を用い水洗して精製しているが、こうした方法においては、電解質濃度が下がるにつれ顕在化してくる分配率上の壁により、一定水準以上の高純度化には著しいコストアップが避けられない。こうした場合、本発明装置によれば水の節約と高純度化が同時に実現できる。

【0032】気体、有機溶剤あるいはその溶液など、電気絶縁性流体の脱塩処理を続けると次第に電気抵抗が上昇し、ついには脱塩の継続が不可能になる。これは、イオン交換体の水分が、脱塩時のイオンに随伴する水分となって濃縮室へ運び出され、失われるためである。この現象を回避するために、かかる流体の処理に対し本発明では水分補給機構を付加する。水分の補給はイオン交換体のイオン電導性を良好な状態に保つためであり、水を連続的あるいは間欠的にイオン交換体へ供給するが、下記するように、流体の性状により条件を変える必要がある。

【0033】第一は被処理流体が気体の場合である。ここで気体とは、多くの場合大気であり、時として大気よりその組成をずらした空気であったり、実質的に単独組成のガスであってもよいが、アンモニア、ハロゲン化水素などの酸性ガスあるいは塩基性ガスあるいはこれらを主成分とするガスであってはならない。被処理気体に噴霧するなどの方法により、水を微小水滴として気体に混合して脱塩室内に供給するか、脱塩室内を上より下に流れ下る循環水として、脱塩室内のイオン交換体へ水分を補給することができる。なかでも図3に見られるように脱塩室内に二種類の貫通流路が存在する場合にはいずれかの貫通流路を水の補給路として利用できる。

【0034】第二は被処理流体が水と殆ど混和しない溶剤またはこうした性状を持った溶液系の場合である。ここで「溶液系」とは複数の溶剤よりなる混合溶剤、および混合溶剤溶液を含めたものとする。この場合、被処理流体と水との関係は、第一の場合(気体と水の場合)と基本的に似ており、水分の補給方法も原則的に同じ方法で行うことが出来る。無極性ないし極く弱い極性溶剤がこうしたケースに該当し、ベンゼン、トルエン、p-キシレン、トリクレン、ノルマルヘキサン、ノルマルヘプタン、シクロヘキサン、ベンジルアルコール、クロロホルム、四塩化炭素およびこれらの混合液がこのケースに含まれる。

【0035】第三は、被処理流体が水との混和性が少しあるいは十分にある、溶剤または溶液系の場合である。単独の溶剤としては、MEK、酢酸エチル、ジエチルエーテル、イソプロピルアルコール、DMF、DMSO、THFがこのケースに相当する。これらの溶剤あるいは溶液系では水と親和性があるため、水を取り込んで均一相を形成することがあるが、逆に水分を全く含んでいな

いとイオン交換体の水分を奪い取る脱水剤として作用するので注意が必要である。第三のケースでは、被処理液に繊維状イオン交換体のイオン電導性を発現するに足る水を共存（溶解）せしめて脱イオン処理ができ、その水分量は第一および第二のケースに比べ多くなる。

【0036】以上、いずれの流体の場合も脱塩室のイオン交換体に水を供給するには、少量ずつ連続的にあるいは間欠的に脱塩室に供給することにより実施できるが、その供給は脱塩室の電気抵抗値の変化を感知して電氣的にコントロールすることが可能であり、こうした方法を採用すれば確実に適量の水分を補給できる。水の最低供給量はイオン交換体が必要な伝導度を保てる量であり、通常上これよりやや多めとし、流路が塞がれない範囲に設定するのが好ましい。

【0037】このように非水系流体中に水分を供給することは、それに含まれる極性物質の吸着は、水滴などに溶解された後、繊維状イオン交換体に吸着されるメカニズムによるため、水分の付加により極性物質の除去率は向上する。例えば空気中のイオン性不純物の除去において、ケミカルフィルターに比べても、同じ繊維状イオン交換体を湿潤状態で使用する本発明の場合、極性物質の捕捉はより効果的に行われる。この効果を積極的に利用して水分の供給を潤沢にして除去率を高めることが可能である。この場合、脱塩室より出てくる過剰の水分は脱塩水となっており循環使用できる。

【0038】本発明装置では、被処理流体の流れを、脱塩室内において、貫通流路より貫通流路の外側（in→out）に、逆に貫通流路の外側より貫通流路内（out→in）に変えることが出来る。この際に、被処理流体は貫通流路を取り巻く繊維状イオン交換体が高密度で存在すると、流体は狭い繊維間隙を通過することとなり、除去対象のイオンのイオン交換基への接近効果により、通常では除去し難い、シリカ、硼酸などの除去効率の向上がみられる。繊維状イオン交換体の巻き量を増し、巻き密度を高くすることにより、こうした特性を一層高めることができる。

【0039】この目的に最も適したイオン交換性構造物は中空膜過膜を支持体としたものであり、中空ネットを支持体としたものも好ましい。この目的のためには中空糸を搭載した浄水器用モジュールに見られるように、第1または第2のイオン交換性構造物を、脱塩室内においてUターンさせるか、一端を脱塩室内で封鎖して、端をポッティング剤で固め脱塩室の入り口または出口に固定することにより実施できる。こうした仕様は、電氣的に常に再生された微細な混床状態において強力に行われる脱イオンと、微粒子の濾過を同時に行うもので、超高純度純水のユースポイントでの使用や高純度薬液の製造などに特に効果的である。

【0040】水または気体の総合的な浄化を目的とするために、本発明装置の前置装置あるいは後置装置として

併用が好ましい装置がある。例えば、各種フィルターによる粗粒子や微粒子の除去、活性炭や吸着性樹脂による非イオン性有機物質の吸着除去、あるいは紫外線照射、触媒燃焼、オゾン酸化などによる有機物の酸化分解、軟化器による水中の硬度成分の除去、逆浸透装置による各種物質の除去などの装置が対象となる。

【0041】本発明装置で除去対象とすることができる極性物質とは、イオン交換基が遊離形でかつ含水状態にある繊維状アニオン交換体および／または繊維状カチオン交換体に吸着され、直流電場の作用により繊維状イオン交換体からイオン交換膜を介して濃縮室に移動できる物質である。これにはカチオンおよび／あるいはアニオンを生成して水に溶解するいわゆる電解質があり、これらは時として酸、塩基、あるいは錯塩、複塩を含む塩（えん）として分類される物質でもあり、さらに非水系流体に溶解ないし分散して存在できる酸無水物、酸ハロゲン化物、アルカリ金属、金属酸化物、金属ハロゲン化物など、水と接触することにより速やかに分解して上記物質を生成する化合物も対象となる。

【0042】かかる極性物質は極めて多く、以下の例にのみ限定されるものではないが、代表的なものとして以下のものがある。すなわち、水酸化リチウム、水酸化カリウム、水酸化ナトリウムなどのアルカリ金属水酸化物、テトラメチルアンモニウムハイドロオキシド、トリメチルアミン、ジメチルアミン、メチルアミン等のアルキルアミン類、ジメチルエタノールアミン、トリエタノールアミンなどのアルカノールアミン類、アンモニア、ピリジン類などに代表される塩基； 硫化水素、硫酸、亜硫酸、硝酸、亜硝酸、フッ化水素、塩化水素、硼酸、砒酸、亜砒酸、珪酸、炭酸、フェノールおよびフェノール類、トルエンスルホン酸などのスルホン酸類、酢酸、プロピオン酸、乳酸、蔞酸、蟻酸などに代表されるカルボン酸類などの酸；およびこれらの塩基と酸の中和物としての塩（えん）が挙げられる。砒酸、亜砒酸、炭酸ガス、シリカ、酸化マグネシウムなどの弱酸性あるいは弱塩基性物質も含まれる。

【0043】気体中や非水系溶媒中ではガス、溶液、ミスト、あるいは「超微粒子」状となって浮遊する酸や塩基性物質およびこれらの「塩」やさらに、無水硫酸の様な酸無水物、クロルスルホン酸の如き酸ハライド、カルシウムハイドレート、四塩化錫などのように水と接触して速やかに塩基および／または酸を生成するものも処理対象に含まれる。

【0044】脱塩室に装着されるイオン交換性構造物は、流体中の極性物質をイオンとして捕捉する機能と、捕捉したイオンを電気エネルギーの作用により隣の濃縮室に移動する際の通路となる機能を果たす。繊維状イオン交換体は、酸性基を有するカチオン交換体と塩基性基を持つアニオン交換体に大別でき、これらはスルホン酸基などの強酸性基やカルボキシル基などの弱酸性基を有



するカチオン交換体および第4級アンモニウム基などの強塩基性基や第1～3級アミノ基を有する弱～中塩基性基を持つアニオン交換体がある。上記いずれのイオン交換基であっても本発明に用いることができるが、極性物質に対する捕捉力の強さから、特に低濃度の極性物質を対象にする場合には強酸性基を交換基とする強酸性カチオン交換体および強塩基性基を交換基とする強塩基性アニオン交換体であることが好ましい。

【0045】さらに本発明で使用する繊維状イオン交換体は、イオン電導性に優れ、同時にイオン交換性構造物に加工するのに耐えられる繊維物性を兼ね備えている必要がある。イオン電導性についてはイオン交換基の種類、カウンターイオンの種類、イオン交換基の密度、イオンの易動度、それにイオン交換体の連続性により左右されるが、イオン交換基の密度が高い程、またイオン交換基周りは拘束がないのがよい。しかし架橋結合がないと、膨潤が激しく単位体積当たりのイオン交換基の存在密度が低下するためイオン電導性は逆に低下してしまう。適度の架橋構造がありイオン交換基の密度が高められた、ポリスチレンジビニルベンゼン系イオン交換樹脂に理想的なイオン電導性を備えた「物質として」の手本を求めることができる。しかしながら、イオン交換樹脂は粒状であり連続性の点で問題がある。これに対し、繊維状イオン交換体は、「連続体」であり電導体として理想的形状であるが、イオン交換樹脂をそのまま繊維状に出来たとしても繊維物性的に実用に耐えない。そこで、1) イオン交換樹脂を粉砕した微粒子を混合紡糸したり、2) イオン交換基を有するポリマーをポリビニルアルコールと混合して繊維状とする方法、さらには、3) ポリスチレンとポリエチレンよりなる海島構造の繊維にイオン交換基を導入したものなどが工業生産されているが、前二者はイオン電導性において、また、後者はイオン交換成分が、繊維外周部に露出した構造となっているため、引っ張りや摩擦に対して弱い、いずれも本発明には条件を選べば使用できる材料である。

【0046】本発明は、繊維状イオン交換体がポリオレフィンまたはフッ化ポリオレフィン製多孔質繊維の空孔内をスチレン/ジビニルベンゼン系イオン交換性重合体が充填してなる繊維状イオン交換体である場合に、総合的に最もよい効果を得ることができる。すなわち、ポリエチレンなどを溶融押し出しして得られる線条物を結晶性を高めた状態で冷延伸および熱セットすることにより得られる微多孔性繊維を原料繊維とし、その微細孔内にスチレン/ジビニルベンゼン共重合体を形成し、これにイオン交換基の導入を行うものであり、原料繊維の連通する多孔空間に導入されたイオン交換体はスチレン/ジビニルベンゼン系イオン交換樹脂そのものであり、十分な連続性も確保されており、化学安定性、イオン電導性に優れ、物性面では発達した配向と結晶性によりもたらされる丈夫な繊維構造内に保護され、本発明の目的に

叶うものとなっている。また、耐熱性や耐薬品性が特に要求される場合には、特開平1-188538、特開平7-18096などにより提案されているフッ素系繊維状イオン交換体を用いることができる。

【0047】イオン交換性構造物を構成する繊維状イオン交換体は単独で用いるより、カチオン交換体とアニオン交換体とを混用する方が、いわゆる混床効果により優れた脱塩効果を実現でき、より好ましい。混用は糸状で用いる場合には、短繊維であれば混紡糸、長繊維であれば混織糸があり、混合状態はやや粗くなるがイオン性が異なる糸を引き揃えたり、交撚することによっても混用目的が達成できる。使用形態が不織布や紙の場合には均一に混合したり、イオン性の異なる繊維状イオン交換体の薄層(ウェブ)を層状に重ねて混用効果を発揮することもできる。また編織物の場合には、上記糸状物を用いたり、イオン性の逆の糸を交編、あるいは交織して、目的の混用編織布とする。この混用工程で繊維集合体の特性改善のために、イオン交換能のない第三の繊維を、混合あるいは混用することもできる。繊維状カチオン交換体と繊維状アニオン交換体の混用比率は、通常、イオン交換体の交換容量比で9/1から1/9の範囲より選ぶことができる。

【0048】本発明では、このように繊維状アニオン交換体と繊維状カチオン交換体が混合された繊維集合体をもって、貫通流路壁を形成するが、これら繊維の機能は貫通流路を形成し、流路を確保するのは勿論のこと、脱塩室両サイドのイオン交換膜間を結ぶイオン電導性を発揮する電気回路としての機能が重要であり、このために繊維状イオン交換体の連続性が確保されることと、膜と繊維状イオン交換体の接触がしっかりしていることが肝要である。第1、第2および第3の線条イオン交換性構造物においては、構造物の断面はほぼ円形に近く、イオン交換膜と繊維状イオン交換体との安定な接触を得るためには、繊維状イオン交換体の被覆層を含めた該構造物の断面の直径(太さ)が、膜間距離の0.7以上である必要がある。0.7倍以下ではたとえ脱塩室内で膜面に対し垂直方向に扁平に変形して装着されたとしても両端の膜に直接接触するのが困難であり、一方上限についてはあまり大きくなると貫通流路の形状にばらつきが出てくるため、3.0倍程度が限界である。一方、イオン交換性構造物がシートあるいは板状である場合には、その厚みと同等かやや僅かに厚めであることが望ましい。

【0049】繊維状イオン交換体によって構成される貫通流路の壁の厚みは、イオン交換性構造物の太さまたは厚さに対しおよそ0.05～0.4倍の範囲である。貫通流路壁は、該壁がかなりの厚みがある場合でも流体の透過性は確保されるが、壁が薄い場合には、壁と表現するより、繊維密度が低くなりネット状のフェンスといった状態もある。かかる状態であっても、貫通流路外に流体は出入りし易くなるものの、脱塩室内全体でみた流

体の透過性は何ら阻害されないので問題はない。イオン交換性構造物は貫通流路により流体の流路を決定するものであり、通常脱塩室の入り口から出口方向に流体が均一に流れるようほぼ直線状に配置する。

【0050】本発明装置に用いるイオン交換膜は、脱塩、濃縮、イオンの回収などに使用される均質膜が各種の流体に対しほぼ無難に使用できる。気体や溶剤など電気絶縁性流体の脱塩処理の場合には、イオン交換膜の選択イオン透過性や水の（電気）浸透現象に対する要求性能は、水の処理の場合に比べ、厳しくないため、不均質膜も使用できる。ポリエチレンやポリプロピレンなどのポリオレフィンをマトリックスとする不均一膜には、丈夫で乾湿両状態でのラフな取り扱いに耐え、かつ熱接着やある程度の熱成形できるなど均一膜には見られない特徴があり、気体中の極性物質の除去などに特に好ましい。また、極性物質が酸に限られる場合には、電流効率を改善するために、近年開発された水素イオン選択透過性カチオン交換膜と水素イオン難透過性アニオン交換膜の組み合わせを利用することもできる。さらに、処理流体中に酸化性物質が存在する場合には、ポリオレフィンまたはフッ化ポリオレフィンと無機イオン交換体よりなる不均質膜、またはフッ素系イオン交換膜などの耐酸化性のある膜が好ましく、繊維状イオン交換体もまた先述した耐酸化性の高いフッ素系を選択することが好ましい。

【0051】本発明装置を運転中に、濃縮水がイオン交換膜を浸透し、脱塩室へ逆流するのを阻止するためにも、脱塩室圧力は常に濃縮室圧力より高いことが好ましい。この場合脱塩室側からイオン交換膜が濃縮室側に広がる作用を受けるため、脱塩室ではイオン交換性構造物とイオン交換膜の間に隙間が生じ絶縁を招く虞れがあり、この対策として、濃縮室はできるだけスリムとし、かつ体積減少を防ぎ外圧を受け止めるための剛直なスペーサーを挿入することが望ましい。

【0052】濃縮室および電極室は硫酸ナトリウム、硫酸カリウム、塩化ナトリウム、塩化カリウムなどの中性塩水溶液を用いるが、この場合、被処理流体中の極性物質を構成する同じイオンを持つ中性塩を用いてもよく、逆に異なるイオン種よりなる中性塩であってもよい。また、純水製造を目的とする場合など、被処理水（原水）をそのまま用いることもできる場合がある。

【0053】本発明装置の脱塩室および濃縮室は、通常の電気透析装置のように数室から十数室あってもよく、電極室に隣接する濃縮室は省略することができる。したがって脱塩室1室を中央に配し、カチオン交換膜を介して陰極室、アニオン交換膜を介して陽極室よりなる構造が最もシンプルである。また本発明装置は、特開平6-7645号明細書に開示されているようなスパイラル構造であってもよく、こうしたスパイラル構造の場合は、入り口および出口システムが少なく装置が簡単でコンパクトであり、漏れや電流損失が少ないメリットがあり、

さらに、非処理流体の入口を外側に出口を中心寄りに設けることにより、入口より出口になるにしたがい電流密度を高めることとなり、脱塩レベルを高めるために合理的な構造となっている。

【0054】装置の構造差にもよるが脱塩室の適切な厚み（膜間距離）は、脱塩室が1室のみの場合で3～500mm、スパイラル構造および脱塩室が複数の場合で0.5～100mmが適当であり、この範囲より選択できる。膜間距離は一般的に純水製造の場合で0.5～5mm、やや粘性があったり、異なる流体が混在するケースでは3mm以上が必要である。一方、濃縮室の厚さは脱塩室より狭く、通常0.5～10mm、好ましくは0.5～5mmであり、用いるスペーサーにはプラスチック製の網や打ち抜きプレートを使用できる。また、繊維状イオン交換体またはこれを混用したイオン交換性スペーサーを濃縮室にも使用することにより、イオン電導性を改善し電力コストを低減できることがある。さらに、濃縮室にも脱塩室と同じイオン交換性構造物を装着することにより、電極の極性を交互に変更する、交番印加方式を採用することも可能である。

【0055】電極材料はアノードとして貴金属で被覆されたグラファイトまたはチタン鋼が、またカソードとしてはステンレス鋼が標準的に使用できる。本発明装置は流体中の極性物質をイオン交換体によりイオンとして捕捉し、これを印加した直流電場の作用により引き抜くもので、その力は極めて強いものであるが、電流が「限界電流密度」を越えて流れるとイオン交換膜を痛めるので、予めこれを越えない低めの電圧に設定する定電圧方式か、電気抵抗を感知しつつ電圧を調整し、電流を限界電流密度以下にコントロールする「自動電圧調整方式」により運転する。

【0056】

【実施例】以下、実施例により、本発明の説明を続けるが、以下の記載における「部」および「%」はそれぞれ「重量部」、「重量%」を意味する。

（繊維状カチオン交換体の調整）まず、スチレンモノマー100部、純分55%のジビニルベンゼン7.5部、重合開始剤としてアゾビスイソブチロニトリル0.5部よりなるモノマー混合液を調整した。一方、直径70 $\mu$ mの円形断面でブタノール法による空孔率が65%のポリエチレン製フィラメント（このものは高密度ポリエチレンを溶融押し出しし、高ドラフトで得た未延伸糸を、いったん熱処理した後、室温下で延伸し、熱セットして得たもので、ラメラの積層部分とマイクロフィブリル部分とよりなる、微孔性繊維である。）をスプールより取り出し、一周約140cmのカセ状とした。このカセを、該モノマー混合液に浸漬し、モノマー液を繊維内に浸透せしめた後、液より取り出し余剰のモノマー混合液を自然落下させ、硫酸ナトリウム8%、苛性ソーダ4%を含む83℃の水溶液を浴液とする縦長容器に浸漬し、この

温度を2時間保持することよりなる一連の操作を順次行ない、繊維内の空孔部分にスチレン/ジビニルベンゼン共重合体を形成せしめた。さらにこれを水洗、乾燥した後、80℃の発煙硫酸に30分間浸漬処理した後、硫酸の除去、水洗を行って目的の繊維状強酸性カチオン交換体を得た。かくして得られた繊維はその重量が多孔性フィラメントの状態に対し約2.8倍に増加しており、乾強度は103g、破断伸度は22%であり、中性塩分解能は3.2meq/g-Na-formであった。

【0057】(繊維状強塩基性アニオン交換体の調整) 一方、スチレン-ジビニルベンゼン共重合体をポリエチレン製微孔性繊維内に形成した上記繊維を、スルホン酸基の導入の代わって、四塩化錫を触媒とするクロルメチルエーテルによるクロルメチル化、脱液洗浄、トリメチルアミンによるアミノ化、脱液洗浄を順次行いビニルベンジルタイプの第4級アンモニウム基を交換基とする繊維状強塩基性アニオン交換体を得た。得られた繊維は多孔性フィラメントの重量に対し2.2倍に増加し、乾強度が155g、破断伸度は30%あり、中性塩分解能は2.1meq/g-CL-formであった。

【0058】(「混床」糸の調整) 遊離型に調整したフィラメント状カチオン交換体5本とやはり遊離型に調整したフィラメント状アニオン交換体8本の計13本を合わせ、1メートルあたり10回のS撚りを加え熱セットすることにより、「混床」糸を得た。この「混抄」糸を用い、以下のイオン交換性構造物を調整した。

【0059】(イオン交換性構造物Aの調整) ポリプロピレンを芯、ポリエチレンを鞘とする太さ280デニールのモノフィラメント(チッソ株式会社製、商品名ライトロン)を用い、製紐機により中空状に編組し、これを繊維の交点部分において熱接着せしめ、外径約3mmの丈夫で寸法安定性と耐圧性のある中空ネットを得た。このものを芯とし、その周りに上記「混床」糸を巻き付け、芯の外径が約3mm、巻き付けた繊維状イオン交換体の層の厚さが約1mmあり、弾力性のある中空紐状イオン交換性構造物Aを得た。この構造物における中空ネットと繊維状イオン交換体の構成比は重量比で1対2.2であった。

【0060】(イオン交換性構造物Bの調整) ポリエチレン延伸テープに撚りを加えてなる梱包用紐を芯とし、その周りに上記「混床」糸をカバリングマシンを用い巻き付け、芯の直径が約1.5mm、巻き付けた繊維状イオン交換体の層の厚さが約1mmあり、弾力性に富んだ紐状イオン交換性構造物Bを得た。この構造物におけるポリエチレン延伸テープと繊維状イオン交換体の構成重量比は1:1.5であった。これらのイオン交換性構造物を組み込んだ本発明装置を、下記するようにして組み立てたが、A、Bいずれのイオン交換性構造物も、予め100デニールのポリフッ化ビニリデン製モノフィラメントを用いて、簾状に加工したので、脱塩室への装着は

スムーズに行うことができた。

【0061】(脱塩装置A) 電気透析試験装置(旭硝子株式会社製、DW-1型)を、脱塩室が3室、濃縮室2室、両端に各1室の電極室よりなる構成として、以下の改造を加え、本発明装置としての性能を確認した。なお、イオン交換膜については電気透析装置に付属のものを使用した。各脱塩室および濃縮室のイオン交換膜の有効寸法はいずれも縦390mm、奥行き130mm、脱塩室の膜間距離4.5mm、濃縮室の膜間距離0.75mmとし、各濃縮室および電極室には脱塩室からの圧力に備えプラスチック製網をスペイサーとして挿入して用いた。なお、脱塩室の膜間距離はエチレン/プロピレンゴム製シートをくり貫いたバックギンを用いて調節した。各脱塩室内には、下記のイオン交換性構造物Aを、上下方向で、互いに隙間なく密着させて列べ、同時に流体のスムーズな通過を図るため脱塩室内の上、下に該構造物が存在しない約5mmの空間を設けて装着した。

【0062】(脱塩装置B) 脱塩装置Aにおいて、脱塩室の膜間距離を3.0mmとし、脱塩室内には、下記のイオン交換性構造物Bと貫通流路を確保する中空ネットを、上下方向で、交互かつ互いに隙間なく密着させて列べて装着し、その他は全て脱塩装置Aと同条件とした。

【0063】

【実施例1、2】(脱塩装置A、Bによる脱塩水の製造) 中空糸膜で河過し、混床式イオン交換塔で脱塩処理した水道水に、塩化ナトリウムを溶解して得た比抵抗値が2MΩ・cmの水を、被処理水として脱塩室内に下降流で20L/hrの流量でもって供給した。一方、濃縮室液および電極室液としては被処理水と同じ水を上昇流で2L/hrずつ供給し、電極間に550mAの電流を流し続け、脱塩室より出てくる水の電気抵抗値を測定した。得られる脱塩水の脱塩レベルは通電開始と共に徐々に向上し、16.5MΩ・cmで安定し、脱塩水を継続して得ることが出来、この脱塩性能は240時間継続後も変化がなく、圧力損失は0.1kg/cm<sup>2</sup>以下であった。次に、イオン交換性構造物Aに替えてイオン交換性構造物Bを使用した脱塩装置Bでも同様の結果が得られた。

【0064】

【比較例1】実施例1において、イオン交換性構造物Aの代わりに下記不織布を脱塩室に収容して試験を行った。得られる水の電気抵抗値は16.7MΩ・cmに到達したが、徐々に脱塩室の圧力損失が増し、流量も96時間後には初期値の1/2以下にまで低下した。

(比較例1で使用した不織布の調整) 遊離型に調整したフィラメント状カチオン交換体とやはり遊離型に調整したフィラメント状アニオン交換体を51mmに切断し、これに繊度3デニール、繊維長51mmで巻縮を付与されたポリエステル繊維を加えた三種類の繊維を、それぞれ3:3:4の重量比でもってよく混合し、まずウエッ

ブを調整し、これを方向を変えて積層し、ニードルパンチングして不織布とした。得られた不織布は1平方メートル当たり280g重量があり、厚さは約5.3mmで弾力性のあるものであった。

#### 【0065】

【実施例3, 4】(脱塩装置Aによる空気中の極性ガスの除去) 床面積51平方メートル、天井高さ2.65mの密閉された室内に、除去対象とする下記極性ガスを逐次添加混合し、そのガスが一定濃度に維持されるよう制御された室内空気を用意した。この空気に、脱塩室のイオン交換体に水分を供給するための純水を加湿器により霧状にして加え、45L/hrの流量で本発明装置Aの脱塩室に下降流をもって導入し、装置より出てくるガス濃度を調べた。なお、本試験の実施に際しては、実施例1と同じ条件で脱塩運転を行った後、電流が250mAになるまで電圧を下げて、脱塩室への被処理水を被処理気体の供給に切り替えて本試験を開始した。また、加湿器による純水は、電圧一定のまま電流値が100mAを下回らないように、間欠的に供給した。アンモニアガス：アンモニアガスにより、室内のアンモニア濃度を1立方メートルあたり13mgに維持し実験を行った。本発明装置により処理された空気は1立方メートルあたり0.001mg以下となった。塩化水素ガス：塩化水素ガスにより室内の塩化水素濃度を1立方メートルあたり3.1mgに維持して実験を実施した。処理された空気中の塩化水素ガスは1立方メートル当たり0.001mg以下に低下した。いずれのガス分析も、対象ガスを一定量の純水に吸収した後イオンクロマトグラフィー法により濃度測定する方法により実施した。また、被処理空気はいずれも22℃、相対湿度45%であった。

#### 【0066】

【実施例5】(脱塩装置Aによるエポキシ樹脂のトルエン溶液からナトリウムイオンの除去) 樹脂固形分に対し、670ppmのナトリウムイオンを含む、ビスフェノールA型エポキシ樹脂のトルエン溶液に純水を加えて水分を5%に調整した。このものの樹脂濃度は3.45%、20℃における粘度は21センチポイズであった。この液を、水が水滴として均一に分散して存在するために攪拌しながら、脱塩装置Aに1時間に5リットルの流量で供給し、電流210mAの条件で脱塩処理した。なお、電極室と濃縮室には500ppm水溶液を用いた。

この処理により、ナトリウムは670ppmから109ppmに低下した。さらにこの条件のままの脱塩処理を10回繰り返したところ、樹脂固形分に対するナトリウムは440pptにまで低下した。

#### 【0067】

【実施例6】(脱塩装置Bによる水系溶液の脱塩) エチレングリコールを30%、ポリN-ビニルアセトアミドを3.7%、それに塩化ナトリウムを5200ppmを溶解して含み、20℃で35センチポイズの粘度を有する水溶液を、脱塩装置Bを用いて脱塩処理を行った。即ち、0.1%の食塩水を濃縮室および電極室液として用い、3L/hrで脱塩室に供給し循環処理し、塩化ナトリウムを3.5ppmに減少させることができた。

#### 【0068】

【比較例2, 3, 4】脱塩室内にイオン交換性構造物Bの代わりに、粒径350~500μmのイオン交換樹脂をいれたもの、および上記不織布をいれたものについては、粘性のため脱塩室内に水溶液を供給することができなかった。また、脱塩室内に何らイオン交換体を入れない場合については、塩化ナトリウム濃度が低下するにつれ電圧の上昇が顕著となり、400ppm以下にすることができなかった。

#### 【0069】

【効果】本発明は、従来、純水製造にのみ限られてきた電気再生式脱塩装置の技術を、気体や有機溶剤など電気絶縁性流体の脱塩処理分野に拡張、水系用途では流体の通過性の良さにより、やや粘性のある溶液の「高度」脱塩処理を可能にする。また、純水製造用途においては、良好な電導性により、設備の大型化や、低コストでの純水製造が実現でき、耐SS性に優れることより、よりシンプルなシステムの構築が可能となった。

#### 【0070】

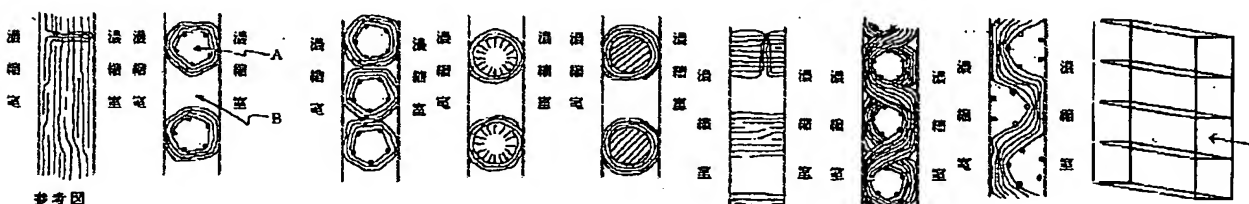
##### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明装置の一例として、実施例で用いた実験装置の構成図。

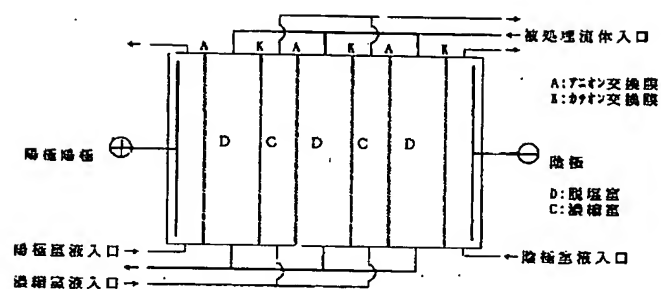
【図10】イオン交換性構造物の支持体として使用する板状フレームの一例であり、実線部分がフレーム、矢印は流体の移動方向を示す。

【図2~9および図11~16】いずれも脱塩室内の流体の進行方向に対する垂直断面より見た脱塩室内の状態を説明するための模式図である。

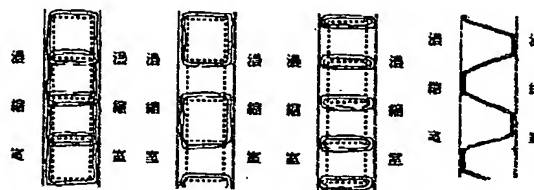
【図2】 【図3】 【図4】 【図5】 【図6】 【図7】 【図8】 【図9】 【図10】



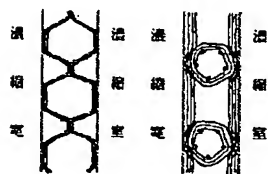
【図1】



【図11】 【図12】 【図13】 【図14】



【図15】 【図16】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4D006 GA17 GA41 HA80 JA44A  
JA44Z KA41 MA01 MA12  
MC22 MC22X MC23X MC29  
MC30 MC33 MC39 MC62 PA01  
PB06 PB12 PB13 PB14 PB17  
PC01 PC02 PC05 PC32  
4D061 AA02 AA05 AA10 AB13 AB14  
AB18 AC19 BA09 BB01 BB04  
BB13 BB17 BB19 BB28 BB29  
BB30 CA09